

CHAPITRE 2

CLIMAT DE L'AFRIQUE CENTRALE : PASSÉ, PRÉSENT ET FUTUR

Maurice Tsalefac^{1,5}, François Hiol Hiol¹, Gil Mahé², Alain Laraque², Denis Sonwa³, Paul Scholte⁴, Wilfried Pokam⁵, Andreas Haensler⁶, Tazebe Beyene⁷, Fulco Ludwig⁸, François K. Mkankam⁹, Viviane Manetsa Djoufack⁵, Michel Ndjatsana¹⁰, Charles Doumenge¹¹

¹Université de Dschang, ²IRD, ³CIFOR, ⁴GIZ, ⁵Université de Yaoundé, ⁶CSC, ⁷Université de Washington, ⁸Université de Wageningen, ⁹Université des Montagnes, ¹⁰Secrétariat exécutif de la COMIFAC, ¹¹CIRAD

1. Introduction

Malgré de grandes avancées au cours des vingt dernières années, les climats et les paléoclimats de l'Afrique centrale sont encore insuffisamment connus. Cette situation est liée au manque de données de stations locales, à la faible densité des réseaux de mesures passées et actuelles, et à la rareté des travaux scientifiques portant sur le climat de cette région. En conséquence, des incertitudes pèsent encore sur l'évolution de ces climats en réponse au réchauffement actuel. Afin d'anticiper les changements qui risquent d'affecter ces climats, il est nécessaire de disposer d'une bonne connaissance de leur fonctionnement actuel, en particulier la façon dont ils s'insèrent dans le système climatique planétaire, et de connaître les variations et changements climatiques qui affectent la zone tropicale (Camberlin, 2007).

Les rares études existantes indiquent qu'au pas de temps interannuel cette région montre une variabilité généralement modérée des précipitations comparée aux autres régions de même pluviométrie. La cohérence spatiale y est aussi particulièrement faible. Ces deux éléments sont le reflet d'une sensibilité réduite du climat tropical aux forçages interannuels majeurs, notamment aux variations des températures de surface océanique. On peut ainsi prédire un accroissement des phénomènes extrêmes, des modifications dans la fréquence des événements météorologiques de type catastrophique, et donc des risques. En conséquence, il est nécessaire de savoir comment les pays de la région s'organisent face aux défis posés par ces probables changements climatiques.

2. Contexte climatique général

De par sa situation géographique, l'Afrique centrale présente une diversité de climats qui peuvent être regroupés en deux types principaux : équatorial et tropical (Figure 2.1). Certaines régions d'altitude, d'étendue limitée, sont aussi soumises à des climats de montagne, le long du rift Albert (à l'est de la RDC), ou le long de la ligne volcanique du Cameroun.

Le climat équatorial à quatre saisons s'étend au sud du Cameroun et de la RCA, au centre de la

RDC, au Congo, au Gabon, en Guinée Equatoriale et à Sao Tomé-et-Principe (Mpounza et Samba-Kimbata, 1990). La pluviométrie moyenne annuelle est de l'ordre de 1 500 à 1 800 mm, avec des maxima supérieurs à 10 000 mm à Debundsha, au sud-ouest du mont Cameroun, et au sud de l'île de Bioko, en Guinée Equatoriale. Le climat y est chaud et humide avec des températures oscillant entre 22°C et 30°C.



Photo 2.1: La déforestation provoque des changements climatiques locaux, notamment en induisant la perte d'eau disponible par la hausse des températures, de l'évaporation et du ruissellement.

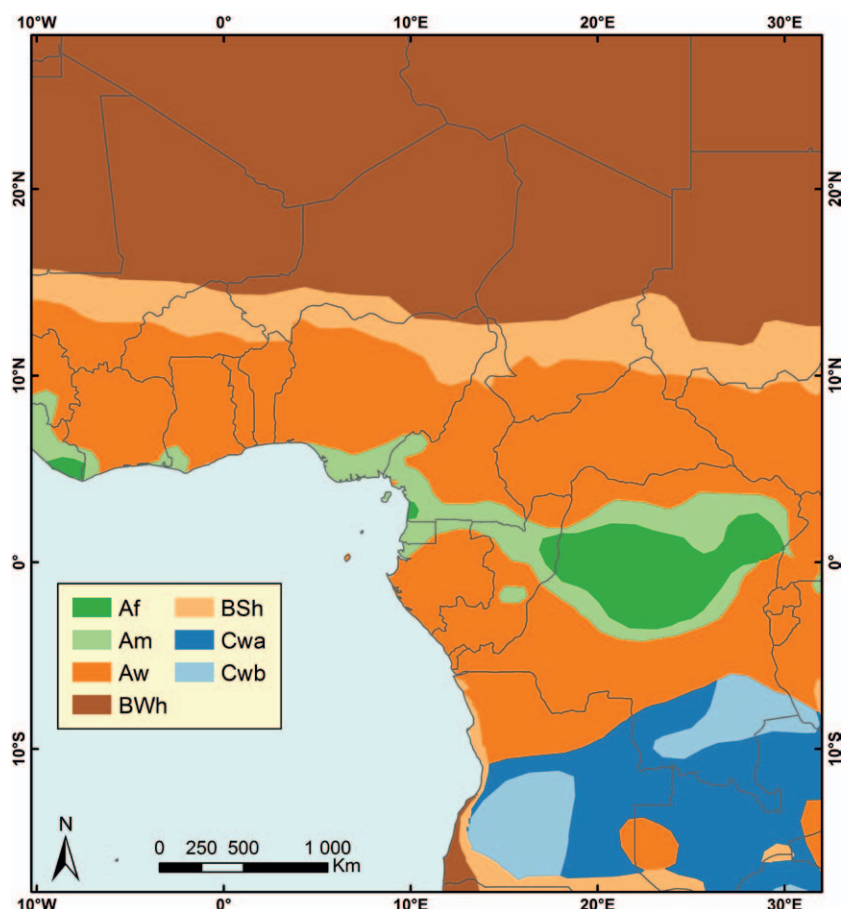


Figure 2.1 : Classification climatique du Bassin du Congo selon le système Köppen-Geiger¹⁷ (Peel et al., 2007), où Af = équatorial/humide, Am = tropical/mousson, Aw = tropical/hiver sec, BSh = semi-aride/chaud, BWh = aride/chaud, Cwa = tempéré chaud/hiver sec/lété chaud, et Cwb = tempéré chaud/hiver sec/lété tempéré.

Le climat tropical à deux saisons présente quant à lui plusieurs variantes : soudanienne, sahélienne et sahariennes. Les types soudanien, soudano-sahélien et sahélien couvrent le nord du Cameroun, le sud du Tchad, le centre et le nord de la RCA. Le sud de la RDC bénéficie d'un climat plus tempéré du fait d'une altitude moyenne supérieure aux autres zones. La pluviométrie moyenne annuelle est comprise entre 300 et 1 500 mm. Les types sahélo-sahariens et sahariens comprennent uniquement le nord du Tchad où la pluviométrie annuelle moyenne est inférieure à 300 mm et où les températures maximales peuvent atteindre 50°C (Godard et Tabeaud, 2009).

Les climats équatoriaux et tropicaux de l'hémisphère Nord sont caractérisés par une saison sèche principale très sèche et ensoleillée (décembre à février) alors que ceux de l'hémisphère Sud, en particulier vers la côte atlantique, bénéficient d'une saison sèche nuageuse préservant des taux d'humidité atmosphérique très élevés (juin à août). Ces différences climatiques, de part et d'autre de la charnière climatique séparant les climats de l'hémisphère nord et ceux de l'hémisphère sud, impactent la végétation et sont d'une importance encore trop souvent méconnue face aux changements climatiques à venir (Gonmadje et al., 2010 ; Monteil et al., en préparation).

3. Fonctionnement général et caractéristiques des climats actuels

3.1 Dynamique atmosphérique

Deux modes de circulations – la circulation de Hadley et la circulation de Walker – contrôlent les déplacements des masses d'air et le climat en Afrique centrale.

3.1.1 La circulation de Hadley

La circulation dite « de Hadley » (Figure 2.2), entre l'équateur et les latitudes tropicales, commande les types de temps et les climats en Afrique centrale.

Les fortes températures présentes sous l'équateur entraînent une importante évapotranspiration et la formation de nuages induisant de fortes

précipitations. En s'élevant dans l'atmosphère, l'air devient progressivement plus sec vers les hautes altitudes. Il se déplace alors vers le nord et le sud et, lorsqu'il est suffisamment froid, redescend vers les basses couches de l'atmosphère (Figure 2.2). Les fortes ascendances de vents au niveau de l'équateur font l'effet d'une pompe qui attire alors les vents de surface des latitudes tropicales vers l'équateur. Ces vents alizés rentrent en contact le long d'une ligne que l'on nomme la zone de convergence intertropicale (ZCIT) ou front intertropical (FIT). La ZCIT migre vers le nord de janvier à juillet et permet à l'alizé austral, qui change de direction et se charge d'humidité océanique, de déverser des fortes pluies sur le continent africain. Au maximum de sa migration vers

17 Remarque : Cette carte est un aperçu très général qui ne reflète que partiellement la variabilité des climats en Afrique centrale. En particulier, le Gabon et le Congo bénéficient climats équatoriaux à sub-équatoriaux, intermédiaires entre les climats Af, Am et Aw.

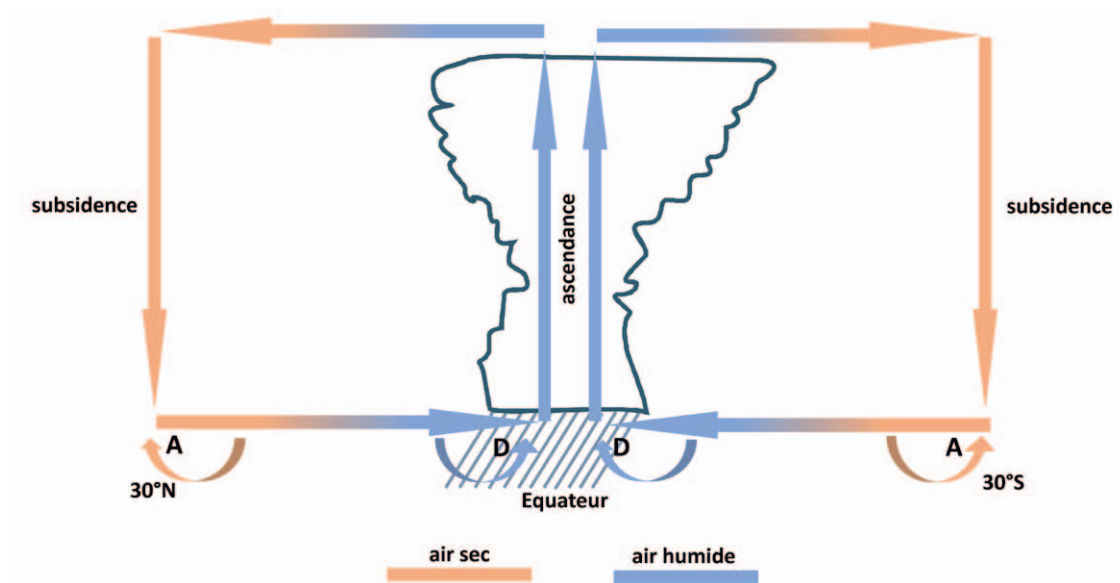


Figure 2.2: Coupe des cellules de Hadley de part et d'autre de l'équateur (adapté de Demangeot, 1992).

le nord, l'alizé austral est très proche du continent et donne lieu à la saison sèche de juillet-août au sud de la région qui nous concerne. À partir de juillet, c'est le tour de l'alizé du nord-est, encore appelé harmattan, de se déployer vers le sud à la faveur du recul de la ZCIT. Il atteint sa position la plus méridionale en janvier, dispensant un temps sec correspondant à la saison sèche au nord de l'Afrique centrale.

La figure 2.3 présente les différentes positions moyennes de la ZCIT ainsi que de la convergence interocéanique (CIO) sur l'Afrique au cours de l'année; la CIO matérialisant la rencontre des vents venant de l'océan Atlantique et de l'océan Indien. Si l'impact des déplacements de la CIO au cours de l'année est loin d'être négligeable, en particulier à l'est de la région qui nous concerne, les migrations de la ZCIT sont d'une très grande importance pour les pays concernés en ce qu'elles permettent d'apprécier le comportement des saisons et leurs variations d'une année sur l'autre. Ces variations sont à leur tour conditionnées par la rotation de la Terre autour d'elle-même et autour du soleil et par les températures de surface de l'océan. L'homme, par ses activités (afforestation, déforestation, feux de brousse, pollution de l'air, etc.) est susceptible de complexifier la composition des masses d'air et de jouer sur leur déplacement et leur capacité à générer des pluies.



Photo 2.2: Les petites montagnes bordant la côte atlantique bénéficient d'une forte humidité atmosphérique en provenance de l'océan favorable au développement de forêts denses sempervirentes

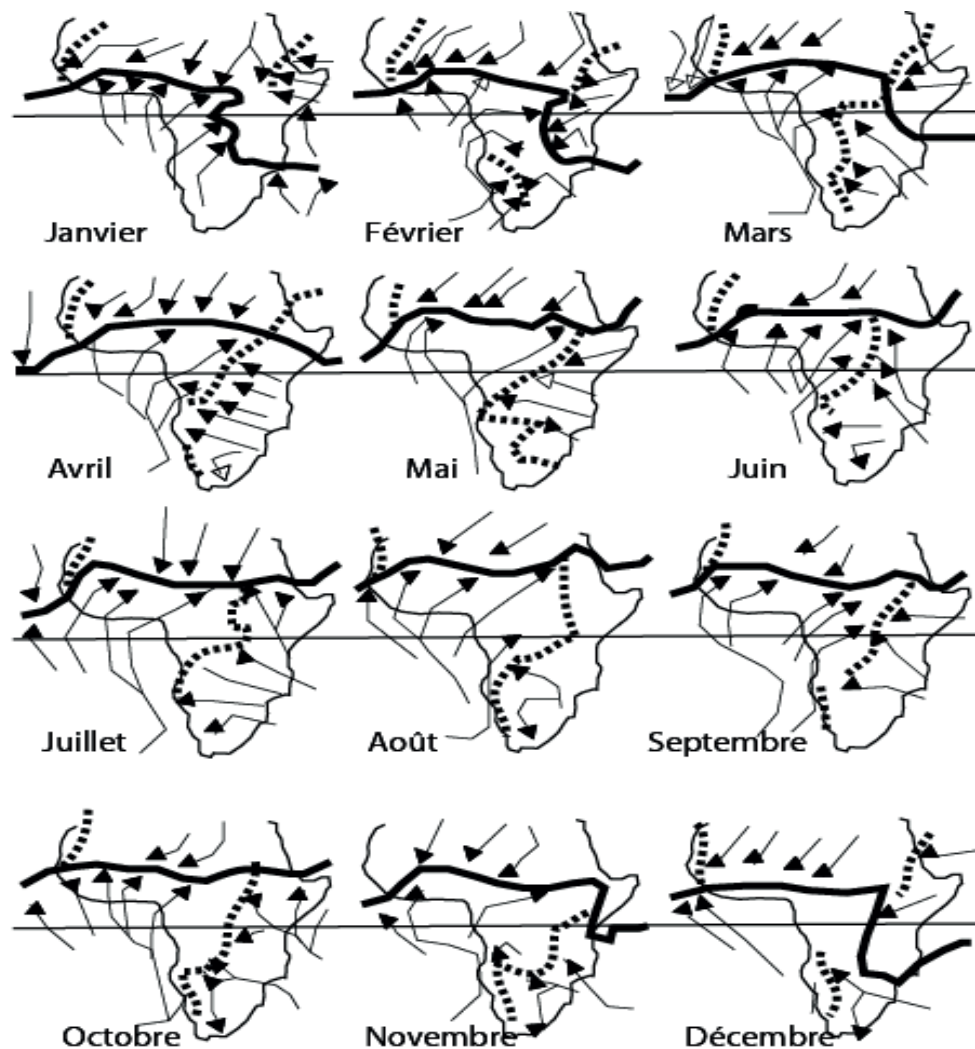


Figure 2.3: Position moyenne mensuelle de la ZCIT (trait plein) et de la CIO (tirets) sur l'Afrique

Source : Samba-Kimbata (1991) ; Bigot (1997).

3.1.2 La circulation de Walker

L'Afrique centrale subit également l'influence de la circulation cellulaire liant les climats de toute la ceinture tropicale. Cette circulation dite « de Walker » (Figure 2.4) est à l'origine des anomalies saisonnières

dans les régions situées à l'est et à l'ouest du Bassin du Congo.

Les circulations de Hadley et de Walker se conjuguent pour moduler les variations saisonnières et annuelles des climats.

3.2. L'impact de la circulation océanique

Le phénomène ENSO (*El Niño Southern Oscillation*) semble exercer une influence partielle sur les climats d'Afrique centrale, tout comme les variations des températures marines de surface (TMS). La variabilité des précipitations semble être liée à l'ENSO et à l'océan Indien occidental dans les premiers mois de l'année, et à l'Atlantique au cours de la période juin-août; l'océan Indien redevenant ensuite un peu plus important (Balas *et al.*, 2007).

Les précipitations d'Afrique centrale réagissent saisonnièrement au comportement des TMS en particulier dans l'océan Atlantique, en lien avec la dynamique de la ZCIT. Les années où l'Atlantique Sud est anormalement chaud s'accompagnent de déficits pluvieux pendant la période de juillet–septembre au nord de 10°N et en octobre–décembre au sud du Cameroun puis du Gabon. À l'inverse, sur les marges sud de la ZCIT, un océan Atlantique central plus

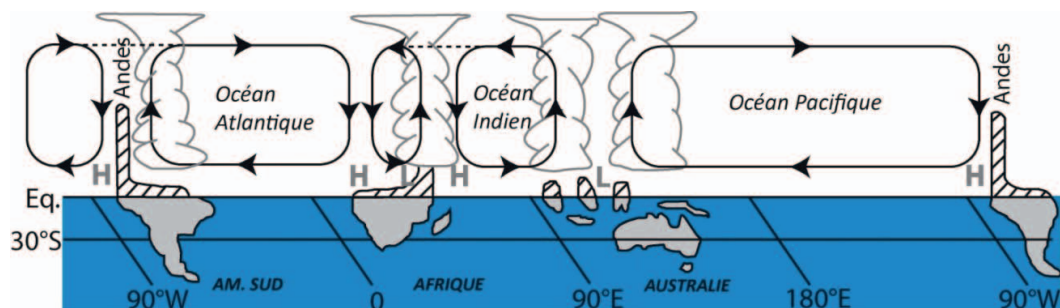


Figure 2.4: Circulation de Walker

Source: Dhonneur (1985).

chaud que la moyenne s'accompagne d'excédents pluvieux, au moins près de l'océan.

3.2.1 Variabilité spatio-temporelle des précipitations à l'échelle régionale

3.2.1.1 Les précipitations moyennes annuelles

La figure 2.5 présente les variations des précipitations entre le début du vingtième siècle et le début du vingt et unième siècle (Djoufack 2011, Djoufack et Tsalefac 2014). Dans l'ensemble, on distingue deux foyers de fortes précipitations ($P > 2500$ mm) :

la région située de part et d'autre de l'équateur (bande équatoriale) et le littoral du golfe de Guinée. Partout ailleurs, les précipitations ne dépassent généralement pas 1500 mm. Au nord du 15° parallèle, les zones sahariennes et sahéliennes reçoivent moins de 500 mm par an.

Le fond du golfe de Guinée et, d'une manière générale, l'Afrique centrale atlantique sont sous l'influence de la mousson africaine et bénéficient de fortes pluviosités. Cette influence océanique se combine à d'autres influences (relief, végétation, etc.) pour créer une diversité de climats locaux. Ainsi, la forte pluviosité sur le littoral du Cameroun au Gabon est associée directement ou indirectement à la

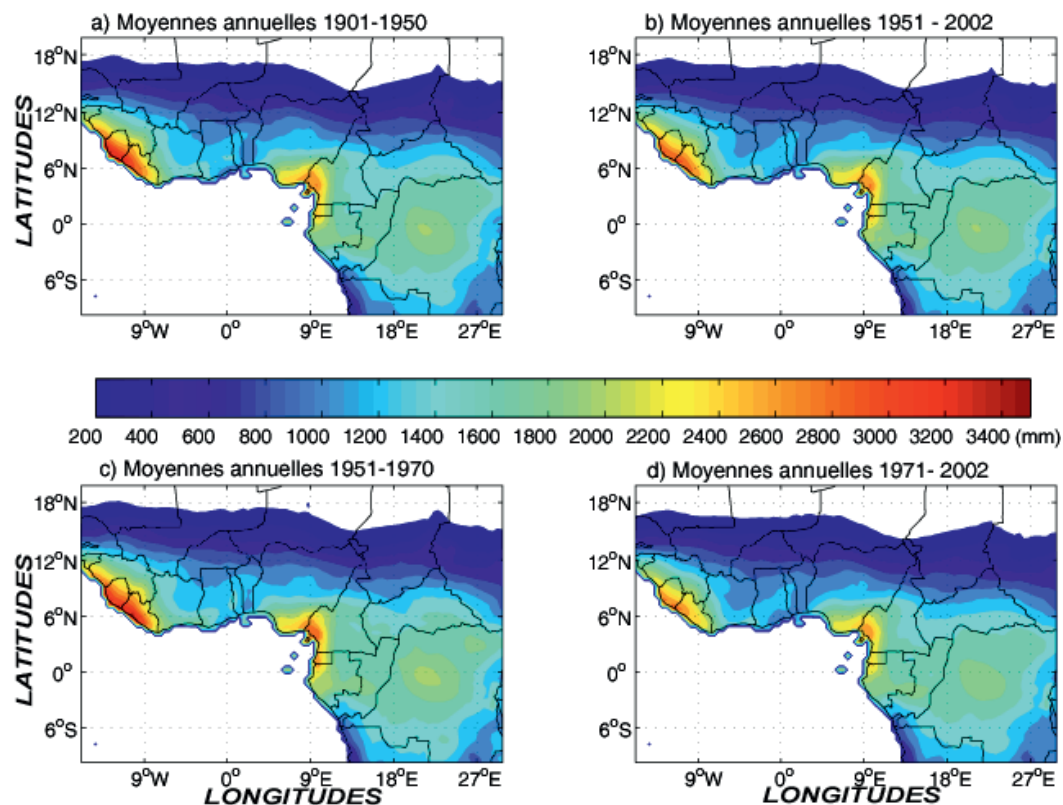


Figure 2.5: Variation des précipitations moyennes annuelles (mm) entre les années 1900 et 2000 à l'échelle régionale: a) moyenne 1901-1950; b) moyenne 1951-2002; c) moyenne 1951-1970, d) moyenne 1971-2002.

Source: Djoufack (2011).



Photo 2.3: Si le climat s'assèche, des écosystèmes rares et à haute valeur écologique tels que les clairières marécageuses pourraient disparaître

présence de reliefs tels que le mont Cameroun ou les petites montagnes qui bordent cette côte atlantique.

La cuvette congolaise doit aussi ses fortes précipitations moins à l'influence de l'océan qu'à la forte évapotranspiration émanant de son couvert forestier et marécageux (Bigot, 1997).

3.2.1.2 Tendance des précipitations

La Figure 2.6 semble indiquer que les précipitations sont restées relativement abondantes au cours du siècle dernier bien qu'elles semblent avoir diminué depuis les années 1950 et surtout depuis les années 1970. On a ainsi observé une tendance à la baisse des précipitations totales de 31 mm/décennie entre 1955 et 2006 (Aguilar *et al.*, 2009). Les plus fortes baisses des hauteurs de précipitation ont été observées pendant la décennie 1968-1980 (Mahé, 1993) et n'ont pas la même intensité à travers toute la région. Dans le sud du Cameroun et au Congo, la baisse des précipitations a persisté jusqu'en 1990 (Figure 2.6). Par ailleurs, au Gabon et en RCA, on a observé une hausse respectivement après 1980 et 1985 (Mahé, 1993).

Des disparités ont aussi été notées à l'échelle locale (Tsalefac *et al.*, 2007 ; Tsalefac, 2013). Tandis que dans le nord du Congo la tendance est marquée par une baisse de la pluviométrie, dans le sud du pays elle est stable (Samba-Kimbata, 1991). De même, on a enregistré une baisse du nombre de jours consécutifs de pluie d'au moins 1 mm/jour ainsi que du nombre de jours avec des précipitations supérieures à 10 mm (Aguilar *et al.*, 2009).

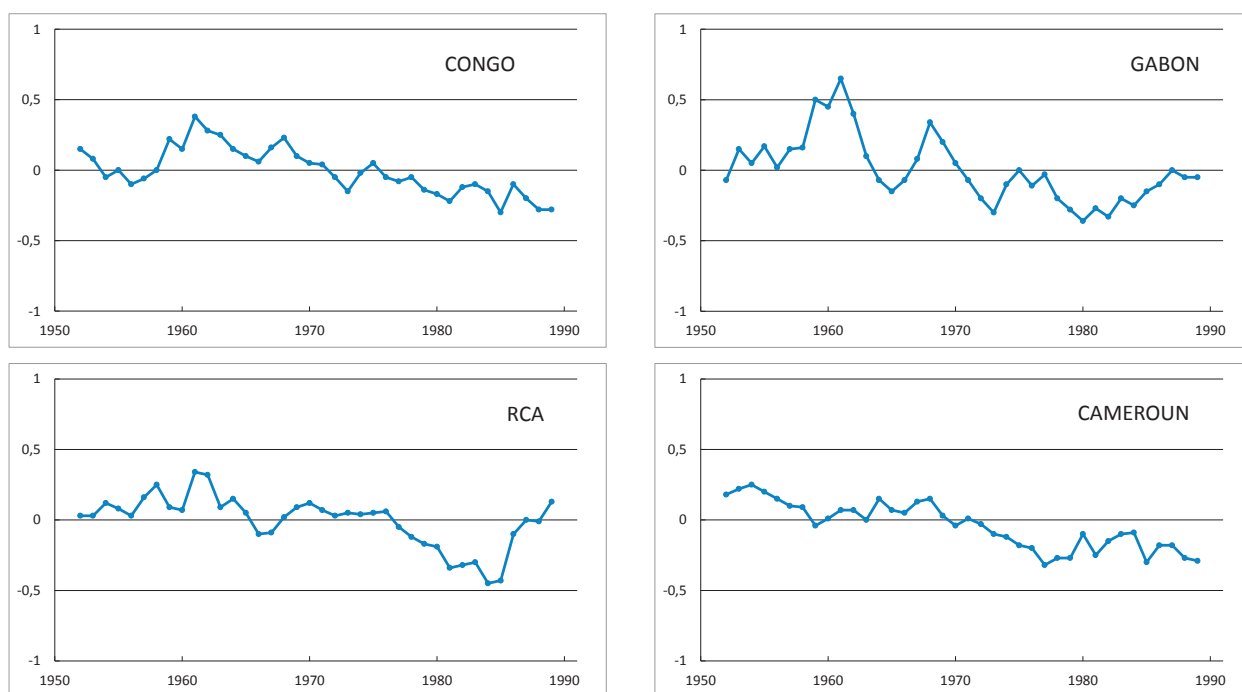


Figure 2.6: Evolution des précipitations annuelles depuis 1950 dans différentes régions de l'Afrique centrale

Source : Mahé (1993).

3.2.1.3 Tendance des températures

Les températures, par contre, montrent une tendance générale à la hausse. Au Congo, sur la période allant de 1950 à 1998, les températures ont augmenté de 0,5 à 1°C pendant les décennies 1980 et 1990 (Samba-Kimbata, 1991). En ce qui concerne les changements de température sur le long terme, les quelques données de stations disponibles dans la région semblent indiquer un réchauffement

statistiquement significatif (GIEC, 2007). Cette tendance s'accompagne d'une augmentation des chaleurs extrêmes (par exemple, la température des journées les plus chaudes a semblé augmenter d'environ 0,25°C par décennie) et une diminution de la fréquence des vagues de froid (Aguilar *et al.*, 2009). Toutefois, en raison de la rareté des données de stations disponibles, il paraît très difficile de tirer des conclusions définitives sur l'évolution des climats actuels.

4. Paléoclimats d'Afrique centrale

Les paléoclimats de l'Afrique centrale sont relativement bien connus pour la période couvrant le Pléistocène supérieur et l'Holocène pour lesquels la chronologie des événements climatiques a considérablement progressé, principalement grâce aux datations au C¹⁴. Les analyses sédimentologiques et palynologiques de dépôts marins et lacustres permettent de proposer un schéma paléoclimatique relativement cohérent (Tableau 2.1).

Vers 4000 ans AP, la température de la surface océanique a diminué et les précipitations ont faibli. À cette époque, l'érosion et les dépôts alluvionnaires sont toutefois restés modérés. Cette phase de relatif assèchement change brutalement de nature autour de

2500 ans AP avec une modification de la répartition saisonnière des précipitations. Malgré une hausse des températures de surface océanique et probablement des précipitations plus soutenues que précédemment, la durée de la saison sèche semble augmenter, entraînant des effets négatifs sur la couverture forestière. À cette époque, l'érosion et les dépôts d'alluvions s'intensifient, marquant ainsi l'existence d'un climat tropical aux saisons plus contrastées.

À partir de 2000 ans AP, une phase plus humide se réinstalle jusqu'à la période actuelle, entrecoupée de périodes plus sèches telle que celle allant de 500 à 200 AP (du XV^e au XVIII^e siècle), correspondant au petit âge glaciaire en Europe.



Photo 2.4 : Les mangroves vont sans aucun doute pâtir des variations futures du niveau des mers

Tableau 2.1 : Evolution globale des climats passés de l'Afrique centrale suivant les données palynologiques et sédimentologiques

Chronologie	Ambiance climatique	Indicateurs
-22 000 à -16 000 ans AP* (Kanémien)	Climat frais et sec	Présence d'accumulations éoliennes et de dunes le long des rivages
-16 000 à -8 000-7 000 ans AP (Bossumien, pléistocène transition)	Phase humide	Colmatage des chenaux et formations des mangroves, développement de la forêt dense
-7 000 à -4 000 ans AP	Persistance et paroxysme phase humide	Développement maximum de la forêt vers -6000 ans AP puis début de fragmentation sur les marges du massif forestier
-3 000 à -2 000 ans AP	Brusque phase sèche	Recul brutal et ouverture de la forêt, surcreusement des chenaux, renforcement du courant de Benguela (Giresse, 1984)
-2 000 à -1 800 ans AP	Retour brutal à une phase humide	Reconquête forestière dans les secteurs non occupés par l'homme

(*) AP = avant le présent..

5. Evolution prévisible du climat en Afrique centrale

5.1. Evaluations globales et régionales des changements climatiques

L'évaluation des changements probables des précipitations et des températures de surface – les paramètres climatiques les plus importants – au cours du 21^e siècle a été réalisée par plusieurs pays de la COMIFAC dans le cadre de leurs communications nationales à la convention cadre des Nations Unies sur les changements climatiques (plus connue sous le sigle anglais UNFCCC). Ces évaluations étaient basées sur des simulations de modèles de circulation générale (MCG) mais elles offrent une précision limitée étant donnée la résolution spatiale grossière qui a été utilisée (jusqu'à 500 km). Comme le montre l'annexe 1, les résultats de ces simulations diffèrent substantiellement d'un pays à l'autre.

Au niveau régional, des études traitant de projections climatiques qui couvrent une grande partie, voire totalement, le Bassin du Congo sont disponibles, bien que la région ne soit pas toujours au

centre de ces études (Sonwa *et al.*, 2014). La plupart d'entre elles ne portent que jusqu'à la moitié du 21^e siècle et se basent sur une unique simulation d'un seul MCG pour un scénario spécifique.

Une évaluation complète et régionale des changements climatiques fut menée sur toute la région de 2010 à 2012 (CSC, 2013). Dans cette évaluation, 77 simulations mondiales et régionales du changement climatique ont été analysées selon des scénarios d'émissions de GES respectivement fortes ou faibles. Cette étude n'a pas seulement permis d'estimer l'amplitude potentielle des changements climatiques prévus mais elle a aussi permis de juger de la fiabilité des changements anticipés par les simulations. De plus, un sous-ensemble représentatif des prévisions de changements climatiques a été utilisé pour des analyses d'impact subséquentes et pour la formulation d'options d'adaptation.

5.2 Température de l'atmosphère à la surface de la terre

L'étude sur les scénarios du changement climatique susmentionnée (CSC, 2013) révéla que tous les modèles, indépendamment de la saison et du scénario d'émission, indiquent un réchauffement de la température atmosphérique de surface d'au moins 1°C vers la fin du 21^e siècle. La fréquence des jours et nuits froids/chauds va respectivement diminuer/augmenter, indépendamment quels que soient la saison et le scénario d'émissions (Tableau 2.2). Dès lors que tous ces modèles anticipent des changements dans la même direction, la probabilité de réalisation de ces changements s'avère très élevée. Cependant, l'éventail complet des possibilités de changement est très large et principalement causé par quelques valeurs aberrantes issues de modèles. Pour cette raison, un

éventail plus restreint des résultats des simulations a été déterminé, définissant les changements qui vont vraisemblablement se produire (cet échantillon correspond à la zone centrale qui inclut 66 % des projections). Concernant la température atmosphérique annuelle moyenne de surface, les changements probables vers la fin de ce siècle sont compris entre +3.5°C et +6°C pour un scénario de fortes émissions et entre +1.5°C et +3°C pour un scénario d'émissions contenues de gaz à effet de serre (Haensler *et al.*, 2013). En général, l'accroissement prévu des températures est légèrement supérieur à la moyenne dans les zones situées au nord de l'Afrique centrale, au nord de la charnière climatique, et légèrement inférieur à la moyenne dans les zones centrales.

Tableau 2.2: “Eventail probable” (centré sur la médiane) des changements projetés (en %) de fréquence des jours/nuits froids/chauds moyennés sur toute la région du Bassin du Congo.

Changements projetés	Scénarios à faibles émissions		Scénarios à fortes émissions	
	2036 – 2065	2071 – 2100	2036 – 2065	2071 – 2100
Nuits froides (en %)	-9 à -7	-10 à -7	-9 à -8	-10
Jours froids (en %)	-8 à -5	-9 à -6	-9 à -6	-10 à -9
Nuits chaudes (en %)	+27 à +43	+29 à +56	+38 à +53	+64 à +75
Jours chauds (en %)	+12 à +21	+13 à +29	+16 à +28	+31 à +54

Source: Haensler *et al.* (2013).

5.3 Précipitations

Selon Haensler *et al.* (2013), les résultats des différentes simulations relatives aux précipitations totales sont moins robustes que ceux concernant la température atmosphérique de surface. Certains modèles prévoient un accroissement des précipitations annuelles dans la majeure partie du Bassin du Congo, tandis que d'autres modèles anticipent une diminution dans les mêmes zones. Néanmoins, ces mêmes auteurs prévoient une tendance générale vers un faible accroissement des précipitations annuelles dans la majeure partie de la région vers la fin du 21^e siècle. On peut pronostiquer une augmentation plus importante des précipitations annuelles sur la région la plus sèche du nord de l'Afrique centrale, ce qui est surtout lié à l'expansion vers le nord de la ZCIT et au fait que les quantités de précipitations sont plutôt modestes sur cette région. Les changements dans les précipitations annuelles seraient probablement compris dans une gamme allant de -10 à +10 % dans la zone la plus humide et de -15 et +30 % dans la zone la plus aride. Des changements drastiques dans les précipitations annuelles futures semblent donc assez improbables.

En revanche, les caractéristiques des pluies vont certainement subir des changements substantiels. La fréquence des événements pluviométriques intenses va probablement augmenter dans le futur



(l'éventail probable pour la plupart des zones est positif et jusqu'à +30 %). De même, les modèles prévoient une augmentation substantielle de la fréquence de périodes sèches au cours de la saison des pluies dans la plupart de la région, indiquant une distribution plus sporadique des pluies à l'avenir.

Photo 2.5: Transport de grumes par flottage sur la Mfimi (Bandundu - RDC)

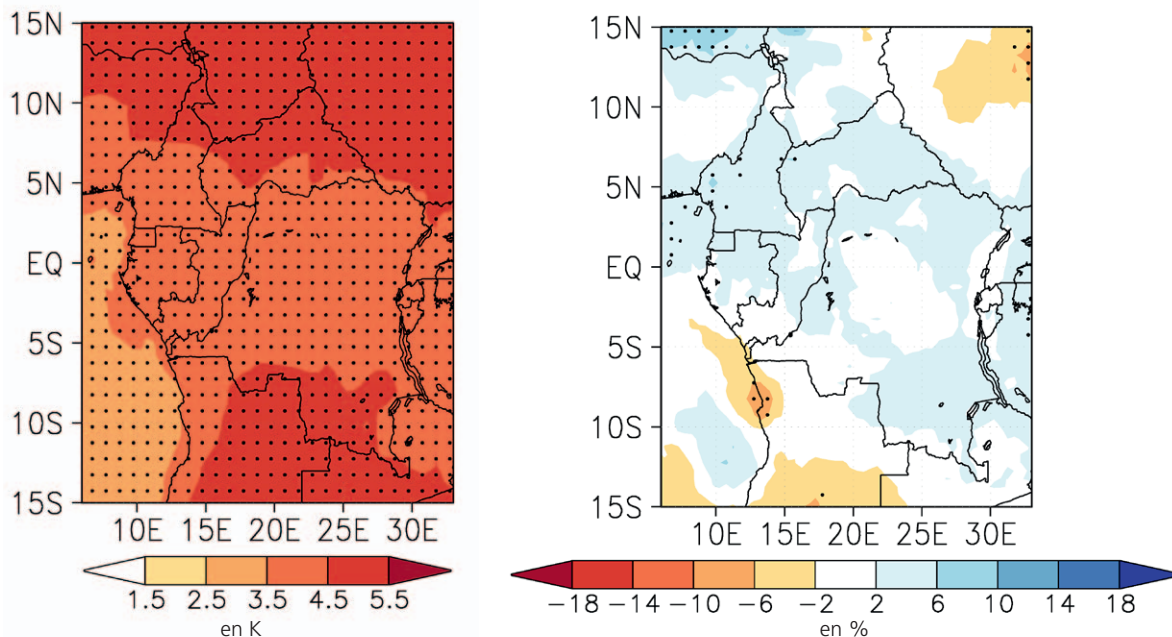


Figure 2.7: Changement prévisible de la température moyenne annuelle (gauche) et des précipitations annuelles totales (droite) à la fin du 21^e siècle (2071 à 2100) selon un scénario de fortes émissions.

Source: CSC (2013).

Le changement décrit à la figure 2.7 correspond au changement médian à partir de 31 prévisions différentes de changement climatique venant de modèles mondiaux et régionaux. Les points noirs soulignent

les régions pour lesquelles la majorité des modèles concordent quant à la direction du changement. Les prévisions de changement dans ces régions sont donc plus robustes que dans les régions sans points.

6. Description du climat actuel et variation des régimes hydrologiques



Photo 2.6: Troupeau de bovins pénétrant dans le parc national du Faro en saison sèche (Cameroun)

Un changement climatique brutal est survenu en Afrique il y a plusieurs décennies avec des impacts variés sur les régimes hydrologiques (Laraque *et al.*, 2001, Mahé *et al.*, 2013). Ces variations de régime hydrologique sont liées à la fois aux changements climatiques et aux activités humaines. L'Afrique centrale semble beaucoup moins impactée par les activités humaines que d'autres régions africaines, ceci étant dû à une densité de population et un développement agricole plus faibles.

En Afrique centrale, les hydrologues ont étudié les régimes hydrologiques de nombreux cours d'eau pendant des décennies depuis les années 1950. Les données sont rassemblées dans le système d'information SIEREM (Boyer *et al.*, 2006; <http://www.hydrosociences.org/sierem/>) et dans l'observatoire HYBAM du bassin versant du fleuve Congo (<http://www.ore-hybam.org>). Ces données sont utilisées pour étudier la variabilité du régime des fleuves en conjonction avec les changements de pluviométrie.

6.1 Tendances globales des régimes hydrologiques des grands bassins versants en Afrique centrale

Les valeurs standards des débits annuels observés sur de longues périodes pour plusieurs bassins versants de grands cours d'eau d'Afrique centrale et occidentale ont été étudiées sur de vastes régions (Mahé *et al.*, 2013). Elles indiquent des différences dans la variabilité interannuelle des débits selon les régions. Des périodes communes de hauts débits et de bas débits ont pu être observées (au cours des années 1910, 40, 60, 70). Mais certaines périodes révèlent des différences dans l'évolution de ces débits (années 50 et 80). Les cours d'eau équatoriaux ne révèlent

aucune tendance interannuelle alors que les cours d'eau tropicaux accusent une diminution des débits depuis les années 70; au contraire, le débit des cours d'eau sahéliens a augmenté depuis les années 80.

6.2 Etude de cas des impacts du changement climatique sur le régime hydrologique du bassin du fleuve Congo

Beyene *et al.* (2013) ont réalisé une évaluation des impacts du changement climatique anticipé sur le régime hydrologique et les variations extrêmes du climat du bassin du fleuve Congo. Le bassin versant de ce fleuve, en dépit de son énorme importance et des implications dans le cycle hydrologique régional, fait l'objet à l'heure actuelle du plus petit nombre d'études d'impacts du changement climatique en Afrique. La modélisation hydrologique de la surface terrestre, a utilisé des données exemptes de biais et des données spatiales climatiques régionalisées provenant de trois MCG (CNCM3, IPSL et ECHAM5) et de deux scénarios d'émissions (A2-élevé et B1-bas), pour simuler les régimes hydrologiques passés et futurs. Les observations historiques de référence provenant du site mondial WATCH, récemment accessible (<http://www.waterandclimatechange.eu/>), et le jeu de données des variables de forçage (mentionné ici comme WFD; Haddeland *et al.* 2011) ont été utilisés pour simuler le statut actuel et futur du régime hydrologique du bassin du fleuve Congo. Les changements dans le régime hydrologique actuel et futur du bassin du fleuve Congo ont été simulés en utilisant le modèle de la capacité d'infiltration variable (CIV) et ont ensuite été évalués (Beyene *et al.*, 2013). Les résultats présentés ci-après concernent les paramètres hydrologiques clés.

6.2.1 Evaporation

Selon Beyene *et al.* (2013) les résultats des simulations indiquent que le changement climatique conduirait à une augmentation de l'évaporation sur l'ensemble du bassin. Le changement est distribué de manière assez uniforme sur l'ensemble du bassin mais l'augmentation d'évaporation serait légèrement plus élevée aux les marges comparée à l'augmentation dans la partie centrale du Bassin du Congo. En moyenne, l'augmentation d'évaporation avant la fin du siècle sera d'environ 10 % pour le scénario d'émissions A2 et de 8 % pour le scénario B1 (Tableau 2.3). Les modèles climatiques différents donnent des résultats similaires et, pour l'ensemble des six scénarios, l'évaporation augmente.

L'augmentation de l'évaporation suite aux changements climatiques a aussi été mise en évidence dans de nombreuses autres études, en particulier si la pluviométrie augmente (Beyene *et al.*, 2013). Il est important de noter ici que le cadre de modélisation de la CIV utilisé pour cette évaluation n'englobe pas l'impact direct de l'enrichissement en CO₂ sur la transpiration des végétaux. Des concentrations plus élevées en CO₂ réduisent la transpiration des végétaux car les stomates des feuilles, à travers lesquels se fait la transpiration, doivent moins s'ouvrir pour absorber la même quantité de CO₂ pour la photosynthèse (Lambers *et al.*, 1998). Il est donc possible que le modèle utilisé surestime l'impact du changement climatique sur l'évapotranspiration totale.

Tableau 2.3: Résumé des changements dans les précipitations, l'évapotranspiration et le ruissellement sur l'ensemble du bassin du fleuve Congo en utilisant les scénarios de changement (moyennes non pondérées des changements sur 30 ans) pour les années 2050 et 2080, pour les scénarios d'émissions SRES A2 (élevé) et B1 (bas), exprimés en pourcentage de changement par rapport à la base historique de simulation (1960 – 2000).

MCG	Précipitations				Evapotranspiration				Ruissellement			
	A2		B1		A2		B1		A2		B1	
	2050	2080	2050	2080	2050	2080	2050	2080	2050	2080	2050	2080
CNCM3	+8	+12	+10	+6	+8	+11	+8	+9	+12	+15	+10	+9
ECHAM5	+6	+21	+8	+15	+13	+17	+3	+5	+16	+60	+24	+42
IPSL4	+11	+9	+5	+13	+9	+12	+9	+11	+19	+6	-3	+20
Moyenne multi-modèles	+8	+14	+8	+11	+10	+10	+7	+8	+15	+27	+10	+23

Source: Beyene *et al.* (2013).

Encadré 2.1 : Ruissellement et débit

Ruissellement : en hydrologie, c'est la quantité d'eau écoulee via les eaux de surface, ce qui comprend non seulement les eaux qui se déplacent à la surface de la terre, mais aussi, celles qui s'infiltrent dans le sol et se déplacent au moyen de gravité vers un exutoire (toujours situé au-dessus du niveau de la nappe phréatique principale). Les eaux de ruissellement comprennent aussi les eaux souterraines qui est réapparaissent à l'air libre (résurgence). Un écoulement qui provient exclusivement d'eaux souterraines est appelé « débit de base », ou ruissellement de beau temps. Il se produit lorsqu'un « canal » croise la nappe phréatique (inspiré d'Encyclopaedia Britannica).

Débit : en hydrologie, le débit d'un cours d'eau est le volume d'eau liquide traversant une section transversale de l'écoulement, par unité de temps. Il comprend tout ce qui est transporté avec cette eau, comme les matières solides en suspension (ex. : les sédiments), les produits chimiques dissous (ex. : le calcaire), des éléments biologiques (ex. : les diatomées) (d'après Wikipédia).



Photo 2.7: L'érosion s'invite sur les chemins d'exploitation délaissés

6.2.2 Ruissellement

Le ruissellement augmente dans la plupart des scénarios de changement climatique évalués (Beyene *et al.*, 2013 ; Tableau 2.3). L'augmentation du ruissellement n'est pas uniformément répartie sur l'ensemble du bassin. Le ruissellement augmente plus particulièrement au centre et à l'ouest de la RDC et au Congo. Le Cameroun et une partie du Bassin du Congo montrent une augmentation du ruissellement relativement élevée. Sur les franges nord, sud et ouest du bassin, les résultats sont considérablement

différents : ici, les augmentations sont insignifiantes et parfois le ruissellement décroît. En moyenne, sur l'ensemble du Bassin du Congo, le ruissellement pourrait augmenter de 15 % avant le milieu du siècle selon le scénario A2 et de 10 % selon le scénario B1 (Tableau 2.3). Avant la fin du siècle, le ruissellement pourrait augmenter de 27 % selon le scénario A2 et de 23 % selon le scénario B1.

Les changements dans le ruissellement dépendent aussi des saisons. Pour les trois modèles climatiques, les différences de ruissellement entre saison sèche et saison des pluies augmentent, indiquant un futur régime hydrologique plus variable. La variabilité s'accroît aussi à l'échelle spatiale. Plus particulièrement, dans les parties centrale et occidentale, plus humides, le ruissellement augmente tandis que sur les bordures plus sèches, le ruissellement augmente à peine ou même diminue selon les scénarios. Des études antérieures sur l'impact du changement climatique sur les caractéristiques hydrologiques du bassin du fleuve Congo montrent des résultats très variables (Beyene *et al.*, 2013). Arnell (2003) a ainsi mis en évidence une diminution possible du ruissellement moyen sur l'ensemble du Bassin du Congo pour 2050, en usant d'un autre ensemble de modèles climatiques. Aerts *et al.* (2006), de leur côté, ont relevé une augmentation possible du ruissellement de 12 % dans le bassin du fleuve Congo pour 2050 comparé aux simulations relatives aux données historiques.

Tableau 2.4 : Changements relatifs prévus du débit annuel moyen du fleuve Congo à Kinshasa pour deux périodes à venir, exprimés en pourcentage de changement par rapport à la période 1960-2000. Trois modèles climatiques différents ont été utilisés en combinaison avec un scénario d'émissions élevées (A2) et un scénario d'émissions basses (B1).

Modèle climatique	2036-2065		2071-2100	
	A2	B1	A2	B1
CNCM3	20 %	5 %	27 %	17 %
ECHAM5	23 %	28 %	73 %	46 %
IPSL4	8 %	1 %	14 %	18 %
Moyenne multi-modèles	17 %	11 %	38 %	27 %

Source : Beyene *et al.* (2013).

6.2.3 Débits

En concordance avec les changements de ruissellement prévus, Beyene *et al.* (2013) trouvèrent que les débits annuels moyens obtenus avec la combinaison de plusieurs modèles pour la station de Kinshasa devraient augmenter de 11 à 17 % d'ici 2050 en fonction du scénario d'émission et de 27 à 38 % d'ici 2080 en comparaison avec la période de référence (1960-2000 ; Tableau 2.4). Il faut noter que les changements de débit simulés par les différents modèles présentaient de fortes différences.

Les augmentations de variations de débit sont particulièrement notables au cours de la saison des pluies. En octobre, novembre et décembre tous les scénarios affichent une augmentation de débit. Au cours de la saison sèche, cependant, les modèles



Photo 2.8: Le fleuve Ogooué en saison sèche, au niveau des portes de l'Okanda (Gabon)

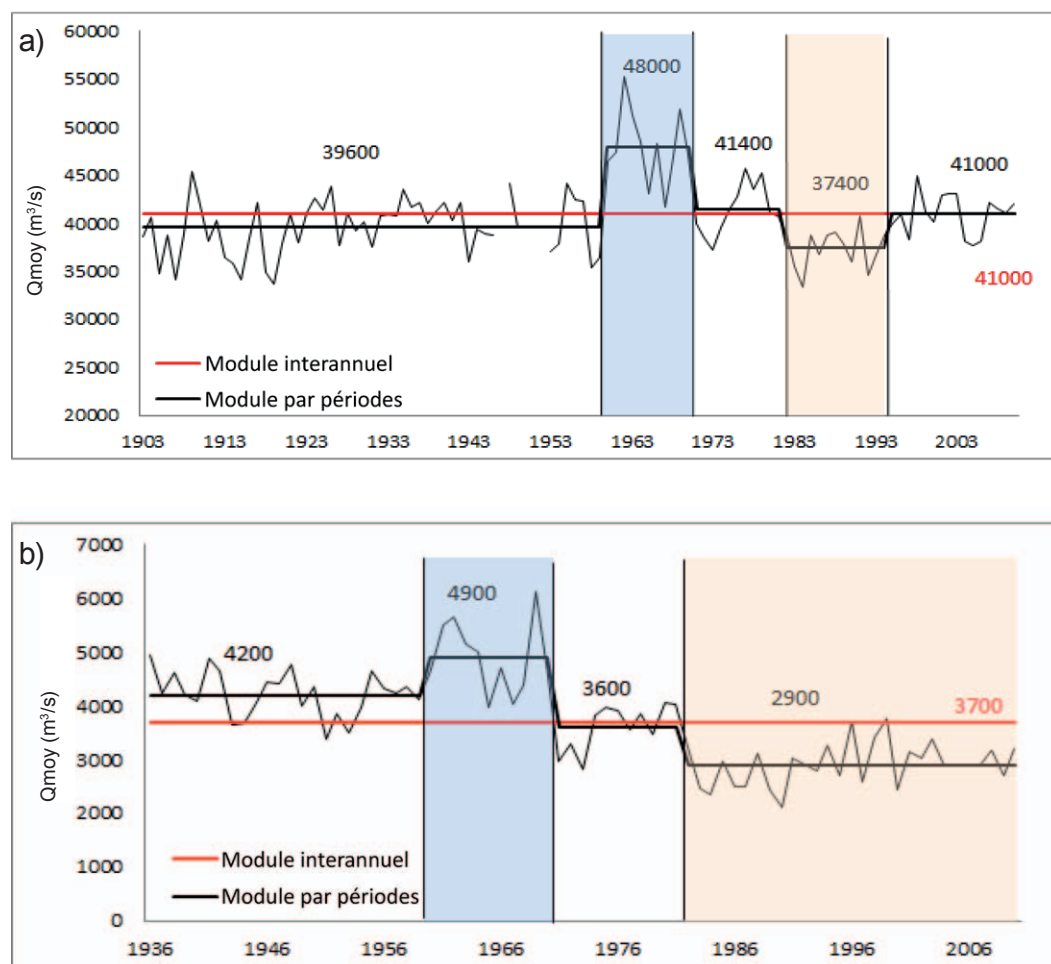


Figure 2.8: Séquençage des débits annuels moyens a) du fleuve Congo à Brazzaville de 1903 à 2010 et b) de la rivière Oubangui à Bangui de 1936 à 2010.

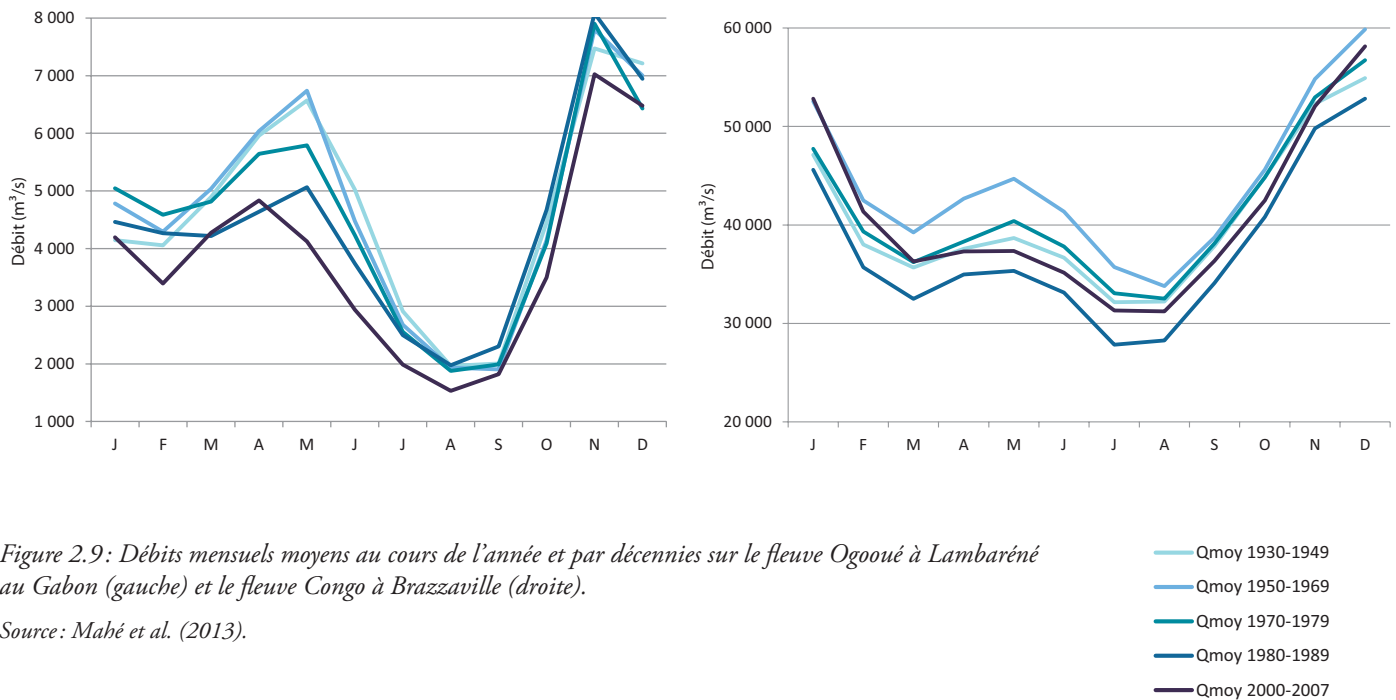
Source : Laraque *et al.* (2013).

CNCM3 et IPSL4 indiquent une réduction des débits pour le 21^e siècle. En particulier, le modèle IPSL4 indique une réduction significative des débits de juin à octobre. Ces résultats montrent que, durant la saison humide, il faut vraisemblablement s'attendre à une augmentation des débits (Beyene *et al.*, 2013). Au cours de la saison sèches, cependant, les résultats sont plus incertains et les débits pourraient soit augmenter soit diminuer. Ainsi, bien que la disponibilité en eau puisse probablement augmenter dans le futur, cela ne signifie pas que la fréquence des épisodes de sécheresses et des périodes de faibles débits va diminuer. Pour tous les scénarios, la différence de débit entre la saison sèche et la saison des pluies va augmenter. Ceci signifie que les extrêmes, qu'ils soient secs ou humides, pourraient augmenter à l'avenir, vers des climats plus saisonniers et de type tropical.

Sur base de mesures de terrain, Mahé *et al.* (1990), Lienou *et al.* (2008) et Laraque *et al.* (2001, 2013) ont détaillé les changements dans les régimes hydrologiques des cours d'eau d'Afrique centrale. Selon ces études, les séries temporelles des débits annuels de ces cours d'eau ne présentent pas de tendance à long terme comme c'est le cas en Afrique de l'Ouest. Néanmoins, une diminution significative dans les débits interannuels du Congo et de l'Oubangui a été relevée, en comparaison avec la moyenne des données d'un siècle (Laraque *et al.*, 2013). Les auteurs mentionnent que, depuis 1995, les débits du fleuve

Congo sont revenus à la normale alors que ceux de l'Oubangui et de la Sangha, malgré une certaine remontée, restent très largement sous les niveaux normaux (Figure 2.8). En 2010 et 2011, les plus bas niveaux depuis 65 ans ont été observés à Brazzaville et, en 2012, l'Oubangui avait atteint son niveau le plus bas depuis un siècle. Selon les auteurs, ces changements semblent mettre en évidence des perturbations climatiques qui affectent plus spécifiquement les régions nord du Bassin du Congo (bassins de l'Oubangui et de la Sangha), au nord de la charnière climatique, régions déjà marquées par des détériorations climatiques.

De plus, des changements significatifs dans les débits saisonniers ont été relevés (Figure 2.9). Pour l'Ogooué et le Kouilou, et pour une partie des rivières du sud du Cameroun, les débits de la période mars-juin ont diminué régulièrement au cours des années 70 et 80, alors que ceux d'octobre-décembre n'ont pas accusé de changement, ou ont présenté une légère augmentation. Même pour l'énorme fleuve Congo, le débit « printanier » est aussi sérieusement réduit, comparé au débit « automnal ». Le pic de débit est aussi observé en avril au cours de la période récente (années 2001 à 2007), plutôt qu'en mai auparavant, ce qui, en dépit de la taille du fleuve Congo, est représentatif de la même tendance que celle de l'Ogooué.



7. Quelques problèmes relatifs au suivi du climat en Afrique centrale

7.1 L'observation du climat en Afrique centrale

En 2000, le Système d'Observation du Climat mondial (GCOS), l'Organisation météorologique mondiale (OMM) et les services nationaux hydrologiques et météorologiques ont réalisé plusieurs évaluations des systèmes d'observation du climat dans différentes parties du monde. Le résultat de cette évaluation a montré que la densité et la qualité des stations météorologiques en Afrique sont les plus faibles de la planète. De 2001 à 2005, des consultations régionales ont alors été entreprises pour développer des plans d'action régionaux pour l'Afrique. En particulier, le plan d'action UA-NEPAD pour l'environnement et la stratégie régionale de réduction des risques ont souligné le besoin d'améliorer la disponibilité et l'usage des données climatiques comme un moyen de favoriser le développement économique de l'Afrique. Mais, jusqu'à présent, aucune réalisation concrète n'a permis d'améliorer cette situation.

Sonwa *et al.* (2014) mentionnent qu'il existe actuellement 419 stations météorologiques et 230 stations hydrologiques pour l'ensemble des dix pays de la COMIFAC. Certaines de ces stations fournissent des données depuis plus d'un siècle. Les premières

mesures climatiques régulières ont débuté en 1885 et 1889 dans les stations de Douala et de Yaoundé, au Cameroun (Nicholson *et al.*, 2012). Selon ces auteurs, la majorité de ces stations n'ont toutefois entamé des observations que dans les années 1950 et 1960. Depuis les années 1980, plusieurs stations ont malheureusement cessé de fonctionner régulièrement et les séries temporelles sont souvent discontinues, limitant le nombre de stations disposant de séries de données complètes et fiables.

Afin de compenser le manque de données climatiques observées sur le terrain, l'utilisation d'estimations dérivées de données issues de satellites géostationnaires s'est largement répandue. Des études récentes basées sur l'usage de divers satellites ont permis de tester des méthodes de calibration (Munzimi *et al.*, 2015; Washington *et al.*, 2013). Ces études ont eu tendance à adopter des variables de remplacement (ou proxys) en lieu et place des variables climatiques, telles que les débits des rivières pour représenter les quantités de pluies ou l'altimétrie satellitale pour évaluer les ressources en eau et le climat.



Photo 2.9: Dans de nombreuses régions d'Afrique centrale, le transport fluvial reste d'une grande importance (Kindu - RDC)

7.2 Stratégies élaborées par les pays et institutions régionales pour améliorer la disponibilité des données climatiques

7.2.1 Le programme Climat pour le développement (ClimDev-Afrique)

ClimDev-Afrique est une initiative conjointe entre la Banque africaine de développement (BAD), l'Union africaine et la Communauté économique africaine (BAD, 2009). Elle vise à améliorer l'implication des fournisseurs de données climatiques, en

particulier les services météorologiques et hydrologiques et les organisations de recherche, dans des projets de développement de manière à créer des liens directs entre les services procurés par le climat et les priorités de développement. ClimDev permettra un flux continu de données climatiques entre les fournisseurs et les utilisateurs de données. La BAD a été mandatée pour accueillir et gérer un fond spécial pour le programme, appelé le Fond spécial africain ClimDev (FSCD).

7.2.2 Réseau de télécommunication météorologique régional en Afrique occidentale et centrale

Les pays d'Afrique centrale sont membres du Réseau de télécommunication météorologique régional (RTMR) et de l'ASECNA (l'Agence pour la sécurité de la navigation aérienne en Afrique et à Madagascar). L'ASECNA coordonne le réseau de télécommunication satellitaire SATCOM, qui couvre l'Afrique occidentale et centrale y compris Madagascar, et qui supporte les communications des programmes d'aviation civile. Le réseau SATCOM dispose d'assez de capacité pour assurer également les liaisons GTS améliorées (Système mondial de télécommunication de l'OMM), qui sont mises en œuvre par les membres de l'ASECNA. Le réseau SATCOM offre une opportunité unique de moderniser le RTMR d'Afrique occidentale et centrale. Des discussions entre les pays membres sont conduites sur les modalités opérationnelles qui permettraient au réseau SATCOM d'améliorer le RTMR dans les pays de l'ASECNA.



Photo 2.10: Lors de saisons sèches particulièrement marquées, certaines petites rivières peuvent s'assécher complètement